

電子工学的手法による道路交通流制御に関する研究

著者	定方 希夫
号	211
発行年	1973
URL	http://hdl.handle.net/10097/11160

氏 名（本籍）	さだ 定	かた 方	まれ 希	お 夫	（群馬県）
学 位 の 種 類	工	学	博	士	
学 位 記 番 号	工	第	2 1 1	号	
学位授与年月日	昭和49年 3 月 6 日				
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当				
最 終 学 歴	昭和22年3月 桐生工業専門学校電気科卒業				
学 位 論 文 題 目	電子工学的手法による道路交通流制御に関する研究				
論文審査委員	（主査） 教授 真野 国夫 教授 二村 忠元 教授 穴山 武 教授 木村 正行 教授 城戸 健一 助教授 高木 相				

論 文 内 容 要 旨

本論文は結論を含めて11章から構成されている。

第1章 緒 論

わが国は自動車の急激な増大により、交通流制御に関して欧米の研究よりむしろ高度な切迫した研究が要望された。また社会システムを構成する道路交通は、その時代の情勢を反映してシステムに対する社会の要望が変せんし、多様化してきた。かかる状況のもとにおいて、電子計算機の利用をはじめとする電子工学、通信工学上の手法を適用することが研究促進の大きな可能性として他の工学分野からも期待された。

筆者は以上のごとき基本的な認識にもとづいて交通流制御に電子工学的手法を適用する研究を行なった。

第2章 道路交通流の特性

道路交通の基本的特性量として従来からの研究により、交通量 (Volume ; q)、空間平均速度 (Space Mean Speed ; V_s)、交通密度 (Density ; K) の相互関係は次のごとく解析されていた。

$$q = V_s \cdot K \quad (1)$$

(1)式を満足するものとして車両の追従走行に関する理論、流体理論、確率モデルおよび現場実測による実験式等により得られた特性方程式の中から、筆者は次の式を基本特性方程式として利用した。

$$V_s = V_f (1 - K/K_j) \quad (2)$$

$$q = V_f (1 - K/K_j) K \quad (3)$$

ここで、 V_f = 自由走行速度 (Free Speed)

K_j = 停止密度 (Jam Density)

この特性値の中で交通量は測定が容易であるが、密度は自動計測が不可能であった。

筆者は、Rothrock氏の時間オキュパンシ (Time of Occupancy) の概念を利用して、自動計測可能な特性量を提案し、解析によりこの量が密度に代用しうることを示し、実測結果でこれを証明した。この特性量もオキュパンシーと呼び O_{cc} で表わせば、

$$O_{cc} = \beta K \quad (4)$$

となる。ここに β は自動計測感知領域とする。これを利用して特性方程式を次のごとく記述した。

$$V_s = V_f (1 - O_{cc} / \beta \cdot K_j) \quad (5)$$

$$q = V_f / \beta \cdot (1 - O_{cc} / \beta \cdot K_j) \cdot O_{cc} \quad (6)$$

この解析により、交通実体の計測が可能となり、制御システムに応用する基準となった。

第3章 道路交通流の計測

交通流制御の基本は交通流自動計測に依存するので各特性量の計測法を検討した。

- (1) 交通流検出素子に関しては、すでに知られている検出原理を応用して、自動車交通流に対するこの原理適用上の可能性を量的に明確にした。
- (2) 交通量計測手法を検討し、調査用計測器を開発するとともに、制御用情報としてのアナログ式交通量計測法の確立をはかり、実用化の基礎を固めた。また、電子計算機を用いたソフトウェアによるデジタル計測を図3.1のごとく提案して多点計測を可能とした。

- (3) オキュパンスーは第2章の解析結果を用いてアナログおよびデジタル計測法を確立し、計測誤差を検討した。

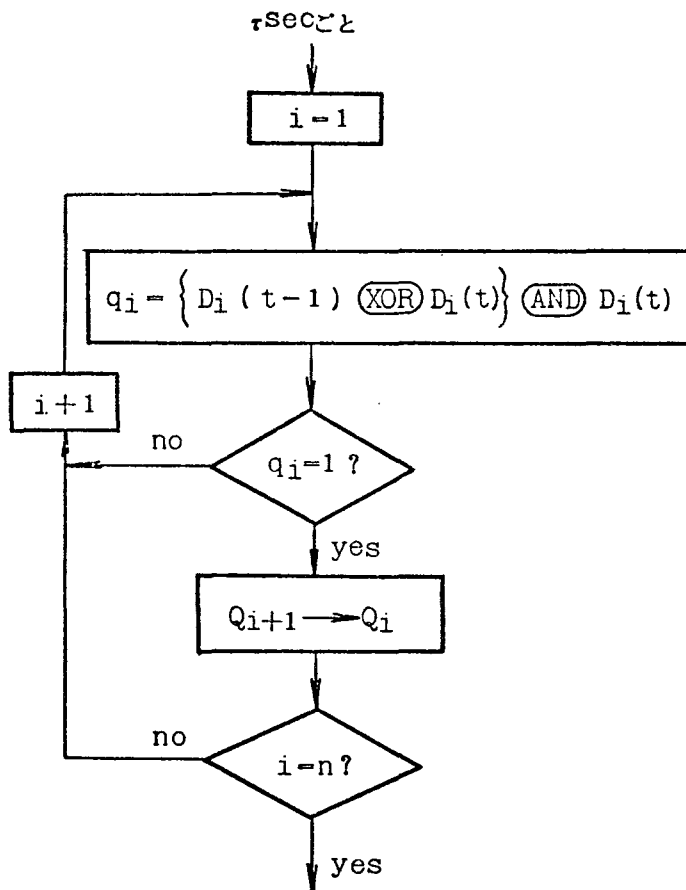


図 3.1 ソフトウェアによる交通量計測

- (4) 特殊交通量計測法として、車長に基く車種判別法を開発し、また車両が発生する騒音のオキュパンスー(S)と交通量(q)とが(7)式の関係にあることを実証した。

$$S = 1 - \exp(-tq) \quad (7)$$

ただし、 t = 時定数

- (5) 信号交差点における交通渋滞度を待ち行列長で表現し、その行列長を車両感知器で計測するモデルをつくり解析して(8)~(13)式の関係と図 3.2 を提案した。

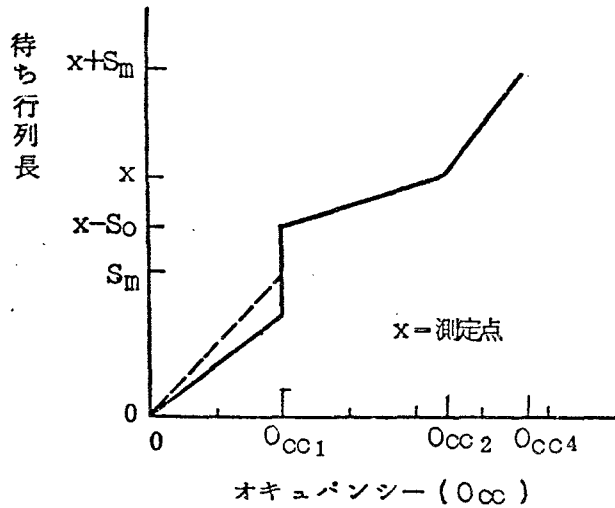


図 3.2 待ち行列曲線

$$S_0 = \mu_i C (V_i + U_b) / 4 - S_m \quad (8)$$

$$S_m = 1 / K_j \cdot q_c \mu C \quad (9)$$

$$OCC_1 = \beta \mu_i K_i \quad (10)$$

$$OCC_2 = \beta \left[\frac{4 S_m K_i}{(V_i + U_b) C} + \left\{ 1 - \frac{4 S_m}{(V_i + U_b) C} \right\} K_b \right] \quad (11)$$

$$OCC_4 = \beta \left\{ \mu K_c + (1 - \mu) K_j \right\} \quad (12)$$

$$U_b = \left\{ (V_i - V_b) / (K_b / K_i - 1) \right\} - V_b \quad (13)$$

この関係は交通情報システムの基準測定法として利用されている。

第 4 章 道路交通流制御の基本

交通流制御の有力な手法である信号制御の基本について検討した。

- (1) 地点信号制御とランダム交通流についてシミュレーションを行ない，実験式として基本的制御パラメータを次のごとく提案した。

$$\text{信号サイクル：} C = 2 A / (1 - \rho) \quad (14)$$

ここに， $A = \sum a_i$ ， 現示切換えによるむだ時間合計値

$\rho = \sum \rho_i$ ， 各流入路飽和度の合計値

この値は従来知られていた Wardrop, Webster 氏の式より大きなサイクル長となるが，わが国の実情に合っているものと考えている。

- (2) 路線信号制御の解析では、車両の停止確率を求める式を提案し、更に従来知られている各種オフセット理論を評価して、計算機による通過帯の自動設計法を確立した。
- (3) 面的制御については、パターン選択法のパターン組み合わせ数を論じ、評価法と制御パターンの関係を明確化した。
- (4) 交通流制御の装置は、諸外国でもすでに機械電気式が開発されていたが、筆者らはこの思想と異なる純電子方式として地点感应信号機、自動感应式系統信号機を開発した。特に電子方式オフセット自動切換論理の解析により、これ以後の感应信号機のパターン切換を容易にした。
- (5) 1対の電話線を利用して、端末信号灯器を中央から直接遠方監視制御する方式を検討し、装置を開発したがこの方式において、フェールセーフ系の信頼度計算を行ない、従来より高信頼度の系を提案した。この方式は当時諸外国にも実施例がなく、わが国独自のものではあったが以後の交通管制システムはこの方式が基本となって発展した。
- 図 4.1 はこの装置の信頼度を規定したものであるが、CPU(1)による総合動作の信頼度を R_a CPU(2)による定型パターン制御機能以下の制御を行なう系の信頼度を R_p 、LCONTによる固定パターン制御機能に相当する信頼度を R_f とすれば、次のごとく計算することができる。

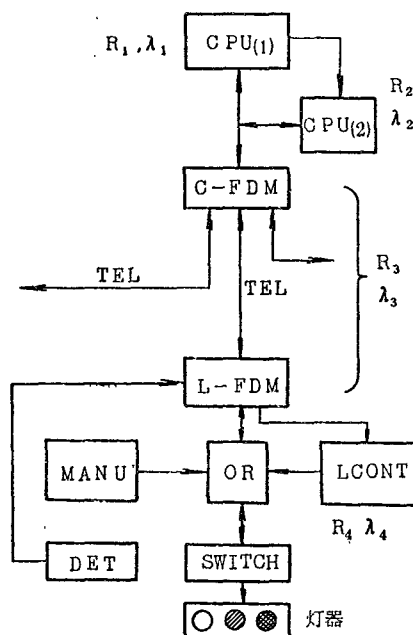


図 4.1 遠方監視制御のフェールセーフ系
(指定以外の信頼度は1と仮定)

$$R_a = \prod_{i=1}^n R_i = e^{-(\lambda_1 + \lambda_3)t} \quad (15)$$

$$R_p = e^{-(\lambda_1 + \lambda_3)t} + e^{-(\lambda_2 + \lambda_3)t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t} \quad (16)$$

$$R_f = \left(e^{-\sum_{i=1}^4 \lambda_i t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_3)t} + e^{-(\lambda_2 + \lambda_3)t} + e^{-\lambda_4 t} \right) - \left(e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4)t} + e^{-(\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)t} \right) \quad (17)$$

この式から、 R_f についても従来に比べて信頼度が向上した。

第5章 道路交通の地点制御システム

従来わが国では、定周期制御、多段制御の実施例は報告されていたが、地点感應信号制御 (Vehicle Actuated Control) は知られていなかった。筆者は第4章で記述した制御の基本的解析結果を利用して地点感應制御システムの試験を行ない従来に比べて制御効率を向上させることができた。

第6章 道路交通の路線制御システム

系統信号システムを路線に適用する場合に、従来研究の各種制御モデルを応用する規準が明確でなかった。筆者は路線制御システム設計法を確立して制御設計の準備作業、信号現示の設計法 スプリット、オフセットの最適設計法、設計の評価法について明確にした。また多数の実測でこれらの結果の裏付けを行なったが、遅れによる制御効率が10～40%向上した。

第7章 道路交通の面制御システム

交通流定型パターンの内容について解析を行ない、制御評価の基準が交通パターンと対応することを示した。二次元領域の面制御定型パターン数は、見掛上は次のごとくなる。

$$P_{in} = \prod_{i=1}^n (\sum E_{in}) \quad (18)$$

$$\sum E_{1n} = \sum E_{2n} = \dots = n \quad (19)$$

これにより、 $n=4$ とおくことができるので、結局パターン数は256種類になることを指摘した。

面制御のアルゴリズムは以後の研究で変せんし、パターン選択制御からパラメータ形成制御に移行した。筆者らは東京広域で行なわれた微分値によるオフセット自動制御法を一部修正して、総遅れ量計測値のフィードバックによるオフセット形成法を実施した。この方法はシステム評価

を行なう際に微分法に比べて有利であった。

第8章 道路交通情報システム

道路交通情報システムの基本的性格について検討した。道路交通を構成する自動車は人間・機械系のサブシステムになるので、その行動は統計量として処理することが必要となる。

任意地点を通過する車両 D_i は、出発前の固有の ($O-D$)、過去の行動経験(E)、走行環境の認識(S)および他の要因(K)の関数であると表現すれば次のようになる。

$$D_i = f_i(\alpha \cdot OD, \beta E, r S, K) \quad (20)$$

交通量(Q)はこれらの和として、

$$Q = \sum D_i = \sum f_i(\alpha \cdot OD, \beta E, r S, K) \quad (21)$$

となる。道路交通情報システムは、交通の情報を運転者へ伝達することにより(21)式の係数を変更させることが可能なシステムで、交通信号制御と併用することが必要となる。

第9章 道路交通管制システム

このシステムは、第4章～第8章にて検討した結果を集めてシステム化したもので、その働きは総合交通制御システムといえることができる。

第10章 交通制御システムの動向

すでに述べた各章の解析検討は社会の動向に添って変せんしたものであるが、制御の多様化にもなって、今後はシステムが拡大し、サブシステムの増加と系の階層化が進むものとする。また一方では大量輸送についての検討が必要で、新しい交通システムに対応した制御システムが要望されている。

筆者は、大量輸送の一手段としてのバス運行についてモデル化を行ない、解析して、遅れと団子運転(Bunching)に関する次の式を提案した。

$$\text{遅れ } d_N = \sum_{n=2}^N t_d (N-n+2) / (1-\rho)^{n-1} \quad (22)$$

$$dmn = \left\{ 1 - \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right)^{m-1} \right\} \left(\frac{1}{1-\rho} \right)^{n-1} \cdot t_d \quad (23)$$

ここに、 t_d = 停留所間の遅れ、 ρ = 乗客到着数/乗車容量、 n = バス停留所番号、 m = バス番号

謝 辞

この研究は、東北大学工学部・真野教授の御指導の下に、筆者が昭和34年から今日まで行なった研究を集大成したものである。

本論文の取まとめに際しては、東北大学工学部・二村教授、佐藤教授、城戸教授、穴山教授、村上教授、木村教授、高木助教授、樋口助教授から種々の御教示をいただいた。

ここに深甚なる感謝を申上げる次第である。

審 査 結 果 の 要 旨

自動車の激増に伴う道路交通問題は極めて深刻で、交通流制御に関しては社会情勢に応じた高度な研究が緊急のものとして要望され、人間による整理法や、簡単な時間制御法に代り、電子工学や通信工学上の手法の適用が研究進展の大きな可能性として期待されていた。本論文は道路交通流制御に電子工学的手法を適用することに関し、基本的研究を行い、実用的応用を図り、複雑な交通流制御システムの発展の基礎を確立したもので、全文11章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、道路交通の基礎的特性量につき従来の諸研究に検討を加え自動計測可能な単位時間オキバンシィの概念を提案し、これを用いて交通量特性方程式を求めて解析し、従来なかった電子工学的手法による交通流制御手法の展開の基礎としている。

第3章では、第2章の結果より、必要な道路交通流の計測につき諸手法を提案している。

第4章では、交通流制御の基礎である信号制御の基本につき検討し、単位時間オキバンシィのモデルによる基本的制御パラメータを求め、地点、路線および面の各制御に関し、それを適用している。著者の提案になるオフセット自動切換理論による解析手法は、感应信号機のパターン切換を容易にし、交通管制システムの基本方式として発展の基礎となっている。

第5章、第6章、第7章では、前章までの結果を利用し、地点制御および路線制御システムの設計法を確立して、その結果の具体的応用例をあげて制御効率の向上を示している。ついで面制御システムに関し、総遅れ量計測値の帰還による自動制御法を提案している。これらは有用な方法として興味深い。

第8章では、道路交通情報システムの基本的性格につき検討し、交通信号制御との併用の必要性を論理的に指摘し、具体例を示している。

第9章では、第4章より第8章までの結果をまとめ、総合的道路交通制御システムに関し述べている。

第10章では、今後の交通制御システムについて考察し、特に大量輸送方式としてのバス優先方式につき従来知見しないバンチングに関する理論的解析を行っている。

第11章は結論である。

以上要するに、本論文は、道路交通に関し、新しい単位時間オキバンシィの概念を提案し、電子工学的手法による交通制御システムの展開を図り、その基礎的諸手法を得ると共に、その実用化を図り、道路交通制御の進展の基礎を得たもので、信号工学、応用電子工学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。